(19) JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10214176 A**

(43) Date of publication of application: **11.08.98**

(51) Int. Cl **G06F 7/544**

(21) Application number: **09344758**

(22) Date of filing: **15.12.97**

(30) Priority: **17.12.96 US 96 768781**

(71) Applicant: **METAFLOW TECHNOL INC**

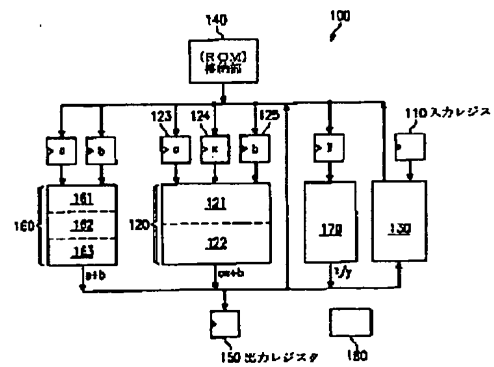
(72) Inventor: **RADICK LEONARD**

(54) DEVICE FOR QUICKLY CALCULATING TRANSCENDENTAL FUNCTION

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To quickly calculate a transcendental function by parallelly calculating the terms of a Taylor series and connecting them after parallel calculation.

SOLUTION: A floating point processing unit 100 is provided with an input register 110 for receiving an input operand and a multiplication/addition unit 120 provided with a first stage 121 and a second stage 122 for parallelly executing multiplication / addition arithmetic operations. Further, it is provided with an output register 150, an adder unit 160 provided with the first stage 161, the second stage 162 and a third stage 163 and a Newton element 170 for calculating a reciprocal. Then, the Taylor series for the transcendental function is decomposed into the two parallel series to be parallelly executed. A different Taylor series is used so as to more quickly perform convergence to a part of the range of the transcendental function. At the time, the transcendental function calculated by using the series provided with the plural pieces of the terms is computed with about 1/6 of a 'normal' time amount per term, that is about one clock time per term in a processor for which the multiplication and addition arithmetic operations respectively require about three clock time.



(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) 公開特許公報（A）　(11)特許出願公開番号

特開平10－214176

(43)公開日　平成10年(1998) 8月11日

(51)Int.Cl.⁶　識別記号　ＦＩ
Ｇ０６Ｆ　7/544　Ｇ０６Ｆ　7/544　Ｚ

審査請求　未請求　請求項の数7　ＯＬ　（全 18 頁）

(21)出願番号　特願平9－344758

(22)出願日　平成９年(1997)12月15日

(31)優先権主張番号　０８／７６８７８１
(32)優先日　1996年12月17日
(33)優先権主張国　米国（ＵＳ）

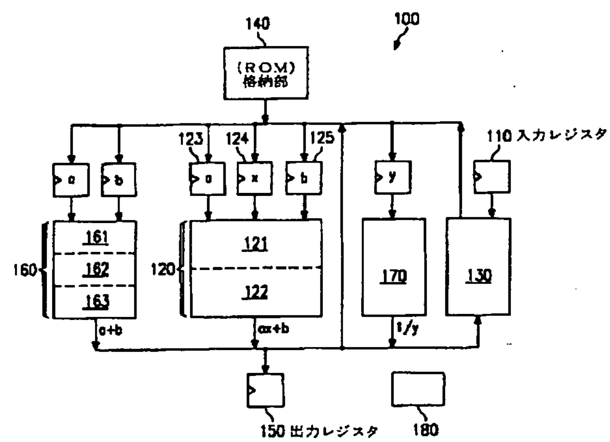
(71)出願人　597154081
メタフロー　テクノロジーズ，　インコーポレイテッド
METAFLOW　TECHNOLOGIES，　INC.
アメリカ合衆国，　カリフォルニア　92037，　ラホーラ，　エグゼクティブ　スクウェア　4250，　スイート　300

(72)発明者　レオナード　ラディック
アメリカ合衆国，　カリフォルニア　92069－3431，　サン　マテオ，　パルマー　ドライブ　1673

(74)代理人　弁理士　小橋　一男　（外１名）

(54)【発明の名称】　超越関数を迅速に計算する装置

(57)【要約】
【課題】　超越関数を迅速に計算する装置を提供する。
【解決手段】　本発明は、超越関数を迅速に計算する方法及びシステムを提供しており、（１）乗算ＡＬＵは積に対して項を加算すべく向上されており、（２）中間の乗算に対する丸め処理はスキップし、且つ（３）テイラー級数を並列処理される２つの部分級数へ分割する。１０個の項を有する超越関数（例えば、ＳＩＮ又はＣＯＳ）は約１０個のクロック時間で実施される。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　超越関数を計算するシステムにおいて、乗算及び加算用の乗算・加算要素であって、一対の被乗数及び被加数に対する入力端を具備しており、出力端を具備しており、丸め処理なしで前記被乗数の積と前記被加数との加算を計算すべく配設されており且つ少なくとも２個のパイプライン段を具備している乗算・加算要素、
収束級数に対し第一シーケンスの項と第二シーケンスの項とを格納するために配設されているメモリ、
前記メモリから前記第一シーケンスの項を読取り且つ前記第一シーケンスの項を表わす１組のオペランドを前記乗算・加算要素へ入力し、従って前記乗算・加算要素が前記収束級数に対する第一小合計を決定すべく動作する第一手段、
前記メモリから前記第二シーケンスの項を読取り且つ前記第二シーケンスの項を表わす１組のオペランドを前記乗算・加算要素へ入力し、従って前記乗算・加算要素が前記第一小合計と並列的に前記収束級数に対する第二小合計を決定すべく動作する第二手段、
前記第一小合計と前記第二小合計とを結合させる手段、
を有することを特徴とするシステム。

【請求項２】　請求項１において、前記超越関数が、ＳＩＮ，ＣＯＳ，ＴＡＮ，ＳＩＮＨ，ＣＯＳＨ，ＴＡＮＨ，ＥＸＰ又はＡＲＣＴＡＮに対する関数を包含していることを特徴とするシステム。

【請求項３】　請求項１において、前記乗算・加算要素の前記パイプライン段の第一段が、キャリィセーブアダー回路を有しており、且つ前記乗算・加算要素の前記パイプライン段の第二段がキャリィルックアヘッドアダー回路を有していることを特徴とするシステム。

【請求項４】　請求項１において、前記結合手段が加算器回路を有していることを特徴とするシステム。

【請求項５】　請求項１において、反転可能なオペランドを受付け且つ前記反転可能なオペランドの逆数を決定すべく配設されている反転要素を有していることを特徴とするシステム。

【請求項６】　請求項５において、前記乗算・加算要素の前記出力の１つを前記反転可能なオペランドとして入力させる手段を有していることを特徴とするシステム。

【請求項７】　請求項１において、
前記超越関数に対するオペランドを格納すべく配設されている入力レジスタ、
前記入力レジスタ内に格納されている値を選択した定数値と比較すべく配設されている比較器、
前記比較器の出力に応答し、前記超越関数に対する値を決定するために級数を選択する手段、を有することを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は、超越関数を迅速に計算する装置に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】テイラー級数によって超越関数を計算する場合には、一般的に、各項に対し１つの「加算」命令（それは、例えば、３つのクロック時間かかる場合がある）及び１つの「乗算」命令（それも、例えば、更に３つのクロック時間かかる場合がある）を必要とする。かなりの精度で超越関数を計算するプロセサの場合には、解の最小桁ビットよりも小さな残差を得るために多数の項を必要とする。６４ビト小数を有する浮動小数点結果を与えるプロセサにおいては、通常のテイラー級数の全範囲に対し６４ビット精度を達成するための項数は約１０であり、乗算及び加算演算が各々約３つのクロック時間かかる場合には、これは約６０クロック時間かかることとなり、それは計算資源が貴重なものである場合に顕著な量の時間である場合がある。より大きな精度を得るためには、より多くの項が必要とされ、従ってより多くの時間が必要とされる。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、以上の点に鑑みなされたものであって、上述した如き従来技術の欠点を解消し、超越関数を迅速に計算することが可能な技術を提供することを目的とする。本発明の利点は、本発明に基づく装置によって達成され、その場合に、テイラー級数の項が並列的に計算され且つ並列計算の後に結合されて、項当り「通常」の時間の量の約６分の１の時間が必要であるに過ぎない。

【０００４】

【課題を解決するための手段】本発明は、超越関数を迅速に計算する方法及びシステムを提供している。好適実施例においては、（１）乗算ＡＬＵがその積に対して１項を加算させる演算を包含すべく向上されており、（２）中間的な乗算及び加算演算に対する丸め処理をスキップし、（３）超越関数に対するテイラー級数を並列的に実施される２つの並列的な級数へ分解し、（４）存在する場合に、減算及び逆数を該計算の終りにリザーブする。適切である場合には、超越関数の範囲の一部に対しより早く収束させるために別のテイラー級数を使用する。その際に、複数個の項を有する級数を使用して計算した超越関数（例えば、ＳＩＮ，ＣＯＳ，ＴＡＮ，ＡＲＣＴＡＮ，ＥＸＰ又はＬＯＧ）は、項当り「通常の」時間量の約６分の１、即ち乗算及び加算演算が各々約３つのクロック時間かかるプロセサにおいて項当り約１つのクロック時間で演算される。

【０００５】

【発明の実施の形態】以下の説明においては、本発明の好適実施例を好適な処理ステップ及びデータ構造に関して説明する。然しながら、本明細書を吟味した後に当業者によって理解されるように、本発明の実施例はプロセ

サを構成する公知の技術を使用して実現することが可能なものであり、本明細書に記載した処理ステップ及びデータ構造を実現するためにプロセサを修正することは本発明の技術的範囲を逸脱するものではない。

【０００６】浮動小数点処理ユニット
図１は超越関数を計算するための浮動小数点処理ユニットを示している。浮動小数点処理ユニット１００は、入力オペランドを受取るための入力レジスタ１１０、乗算・加算演算を並列的に実行するための第一段１２１と第二段１２２とを具備する乗算・加算ユニット、中間値を格納するためのレジスタファイル１３０、超越関数を計算するために使用した定数値を格納するための格納要素１４０、出力レジスタ１５０、第一段１６１と第二段１６２と、第三段１６３とを具備する加算器ユニット１６０、逆数を計算するため（割算演算を実行するため）のニュートン（ｎｅｗｔｏｎ）要素１７０、制御要素１８０を有している。

【０００７】浮動小数点処理ユニット１００は、入力レジスタ１１０においてオペランドを受取り、例えば三角関数（ＳＩＮ，ＣＯＳ，ＴＡＮ，ＳＥＣ，ＣＳＣ，ＣＯＴ）、逆三角関数（ＡＲＣＳＩＮ，ＡＲＣＣＯＳ，ＡＲＣＴＡＮ，ＡＲＣＳＥＣ，ＡＲＣＣＳＣ，ＡＲＣＣＯＴ）、指数関数（ＥＸＴ又はＬＮ）、双曲線三角関数（ＳＩＮＨ，ＣＯＳＨ，ＴＡＮＨ，ＳＥＣＨ，ＣＳＣＨ，ＣＯＴＨ）、又は逆双曲線三角関数（ＡＲＣＳＩＮＨ，ＡＲＣＣＯＳＨ，ＡＲＣＴＡＮＨ，ＡＲＣＳＥＣＨ，ＡＲＣＣＳＣＨ，ＡＲＣＣＯＴＨ）等の超越関数を計算し、且つ出力値を出力レジスタ１５０に供給する。

【０００８】好適実施例においては、各超越関数はテイラー級数を使用して計算される。テイラー級数は超越関数を計算する当該技術分野において公知である。例えば、ＳＩＮ関数は以下の級数を使用して計算することが可能である。

【０００９】

$$\mathrm{SIN}x = x - (1/3!)x^3 + (1/5!)x^5 - (1/7!)x^7 \cdots \quad (201)$$

その他の超越関数も計算のための公知の級数を有している。例えば、標準数学テーブル（ＳＴＡＮＤＡＲＤ　ＭＡＴＨＭＡＴＩＣＡＬ　ＴＡＢＬＥＳ）、第２０版、４５４頁（ＣＲＣプレス、クリーブランド、オハイオ１９７２）を参照すると良い。

【００１０】好適実施例においては、入力レジスタ１１０、レジスタファイル１３０、格納要素１４０、出力レジスタ１５０、本明細書に記載するその他のレジスタは、各々、例えば符号のために１ビット、指数のために１５ビット、及び仮数のために６４ビットを有する浮動小数点数に対するＩＥＥＥスタンダードフォーマットのような、公知の浮動小数点数フォーマットにおいて格納される浮動小数点数を格納するために配設されている３２ビット、６４ビット、又は８０ビットレジスタを有している。

【００１１】浮動小数点処理ユニット１００は、制御要素１８０の制御下で動作し、それは制御信号を使用して浮動小数点処理ユニット１００の要素間でのデータの流れを指向づける。制御信号経路は簡単化のために図１から削除してある。

【００１２】レジスタファイル１３０は計算用の中間値を記録する。格納要素１４０は例えば１／３！、１／５！等の値で計算において使用される定数値を格納する。その中に格納されるその他及び更なる実際の値は本明細書を吟味した後に当業者にとって明らかなものとなる。好適実施例においては、格納要素１４０はリードオンリメモリ（「ＲＯＭ」）を有しており且つ計算期間中における選択した時間において必要とされる定数値を選択するために制御要素１８０によってアドレスされる。

【００１３】乗算・加算ユニット１２０は第一被乗数に対し第一入力端及び第一保持用レジスタ１２３を有しており、第二被乗数に対して第二入力端及び第二保持用レジスタ１２４を有しており、被加数に対して第三入力端及び第三保持用レジスタ１２５を有しており、且つ出力端を有している。乗算・加算ユニット１２０は、その被乗数を乗算して積を発生し、それをその被加数と加算させてその出力を発生する。

【００１４】乗算・加算ユニット１２０の第一段１２１及び第二段１２２は、互いに独立的に動作し、第一段１２１の出力端は第二段１２２の入力端へ結合しており且つ第二段１２２の出力端は乗算・加算ユニット１２０の出力端へ結合している。パイプライン構成のために、乗算・加算ユニット１２０は２つの演算を同時的に実行することが可能であり、そのうちの１つは第一段１２１によって処理され且つ別のものは第二段１２２によって処理される。

【００１５】パイプライン構成の回路は当該技術分野において公知である。更に、別の実施例においては、乗算・加算ユニット１２０が、２つを超える数のパイプライン段を有することが可能であり（例えば、３個、４個、５個又はそれ以上の実際のパイプライン段）、その場合には、第一グループのそのパイプライン段はまとめて第一段１２１として取扱われ且つ第二グループのそのパイプライン段はまとめて第二段１２２として取扱われる。好適実施例においては、第一段１２１及び第二段１２２はそれらの機能を実行するのにほぼ等しい量の時間かかる。

【００１６】好適実施例においては、乗算・加算ユニット１２０は結合した乗算器及び加算器回路を有している。当該技術分野において公知の如く、乗算は部分積を計算し且つこれらの部分積を加算することを包含している。例えば、乗算器に対する簡単な設計においては、第

一Ｍビット被乗数の各ビットを第二Ｎビット被乗数の各ビットと結合させてＮ個のＭビット部分積においてＭ×Ｎビットを発生する。これらのＮ個のＭビット部分積は、（Ｎ）（Ｍ）－（Ｎ＋Ｍ）／２キャリィセーブアダー（ＣＳＡ）回路と、それに続くキャリィルックアヘッド加算器を使用して加算され、Ｍ＋Ｎビットの和を発生する。

【００１７】乗算・加算ユニット１２０はその２つの被乗数に対する部分積を計算する乗算回路を有している。乗算・加算ユニット１２０に対する被加数は、これらの部分積が加算される場合に該部分積と加法的に結合され、従ってそうでない場合に加算演算に対して必要とされる時間を節約する。

【００１８】乗算・加算ユニット１２０は、更に、丸め処理を省略する乗算回路を有している。丸めは計算の中間段において省略されており且つ最終結果についてのみ実施され、従ってそうでない場合に丸め処理のために必要とされる時間を節約している。本発明において使用されるテイラー級数を計算する方法において、テイラー級数の始めの方の項は後の方の項と比較して極めて小さく、従って、高い精度で始めの方の項を計算することは必要ではない。乗算・加算ユニット１２０は丸め処理を省略するので、それは、２つの段、即ち第一段１２１及び第二段１２２を有するに過ぎず、そうでない場合には丸め処理のために必要とされる第三段を有するものではない。

【００１９】各超越関数を計算するための級数は２つの部分級数、即ち第一部分級数と第二部分級数とに分割される。パイプライン技術を使用して、第一段１２１は第一部分級数に対する項を計算し、一方第二段１２２は第二部分級数に対する項を計算し、且つ第一段１２１は第二部分級数に対する項を計算し、一方第二段１２２は第一部分級数に対する項を計算する。

【００２０】乗算演算の公知の方法では約３つのクロックサイクルかかり、即ち、部分積のキャリィセーブ加算を実行するために１つと、該キャリィセーブ加算演算の結果のキャリィルックアヘッド加算を実行するために１つと、その結果を丸めるために１つである。加算演算の公知の方法も約３つのクロックサイクルかかる。乗算演算と加算演算とを単一の乗算・加算演算へ結合させることにより、且つ丸め処理を省略することによって、そうでなければ６個のクロックサイクルを必要とする演算を実行するのに単に２つのクロックサイクルが必要とされるに過ぎない。乗算演算又は加算演算がより多くの又はより小さな数のクロックサイクルを必要とする場合に同様の時間的な節約が達成される。

【００２１】各超越関数を計算するための級数を２つの部分級数に分解することによって、該級数の１０個の項を計算するのに約１１クロックサイクルが必要とされるに過ぎない（即ち、５対の項の各々に対し２つのクロックサイクル、各乗算・加算演算の第二段に対する１つのクロックサイクルだけオフセットされ、丸めを実行するため又は加算器ユニット１６０を使用するために多分１つ又は２つのエキストラなクロックサイクルが必要となる）。

【００２２】計算方法本計算方法は各超越関数を計算するために再公式化した級数を使用する。

【００２３】ｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３を式２１０，２１１，２１２，２１３に示したように定義されるものとする。

【００２４】

$$x0=1+(1/4!)x^{4}+(1/8!)x^{8}+(1/12!)x^{12}+(1/16!)x^{16} \quad (210)$$

$$x1=x+(1/5!)x^{5}+(1/9!)x^{9}+(1/13!)x^{13}+(1/17!)x^{17} \quad (211)$$

$$x2=(1/2!)x^{2}+(1/6!)x^{6}+(1/10!)x^{10}+(1/14!)x^{14}+(1/18!)x^{18} \quad (212)$$

$$x3=(1/3!)x^{3}+(1/7!)x^{7}+(1/11!)x^{11}+(1/15!)x^{15}+(1/19!)x^{19} \quad (213)$$

公知のテイラー級数は、以下の如く、これらの部分級数を使用して計算することが可能である。

【００２５】

$$COSx=x0-x2 \quad (220)$$

$$SINx=x1-x3 \quad (221)$$

（ＣＯＳｘ及びＳＩＮｘの場合には、負の項は分離してある。部分シーケンスｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３の各々は、その個々の計算に対して、加算のみを必要とし減算を必要とするものではない）。

【００２６】

$$COSHx=x0+x2 \quad (222)$$

$$SINHx=x1+x3 \quad (223)$$

$$EXTx=x0+x1+x2+x3 \quad (224)$$

$$TANx=SINx/COSx \quad (225)$$

ＴＡＮＨｘ＝ＳＩＮＨｘ／ＣＯＳＨｘ　（２２６）

級数ｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３は有限長を有するに過ぎない。何故ならば、それらは、該プロセサに対して使用される浮動小数点表現に対する丸め誤差の限界内において、該超越関数に対する正確な値へ収束するからである。本明細書に示した特定の方程式は例示的なものであって、本明細書を吟味した後に、当業者は、異なるものであるが尚且つ有限の長さを有するその他の同様の方程式が異なる所要の精度で計算するために必要とされることを理解することが可能である。

【００２７】級数ｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３の各々はｙ＝ｘ^4 と設定することによって以下の如く再公式化することが可能である。

【００２８】

ｘ０＝１＋（１／４！＋（１／８！＋（１／１２！＋ｙ／１６！）ｙ）ｙ）ｙ　（２３０）

ｘ１＝１＋（１／５！＋（１／９！＋（１／１３！＋ｙ／１７！）ｙ）ｙ）ｙ）ｘ　（２３１）

ｘ２＝１／２！＋（１／６！＋（１／１０！＋（１／１４！＋ｙ／１８！）ｙ）ｙ）ｙ）ｘ^2　（２３２）

ｘ３＝１／３！＋（１／７！＋（１／１１！＋（１／１５！＋ｙ／１９！）ｙ）ｙ）ｙ）ｘ^3　（２３３）

このような再公式化の後に、級数ｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３の各々はパイプライン技術を使用して計算することが可能である。例えば、関数ｓｉｎ（ｘ）は表２－１に示したように計算することが可能である。「クロック」として示した欄は、記述した演算が実行されるクロックサイクルを表わしている。「ｍｕｌ　１」として示した欄は、浮動小数点乗算・加算ユニット１２０の第一段１２１によって実行される演算を表わしている。同様に、「ｍｕｌ　２」として示した欄は、浮動小数点乗算・加算ユニット１２０の第二段１２２によって実行される演算を表わしている。各乗算・加算演算は２つのクロックサイクルを必要とするので、「ｍｕｌ　１」として示した欄内に表われる各演算は、常に、「ｍｕｌ　２」として示した欄内の次のクロックサイクルに常に表われる。

【００２９】あるクロックサイクルはｘ（入力オペランド）の冪の計算、特に、ｘ^2，ｘ^4，ｘ^3 を表わしている。これらは乗算によって計算される。従って、ｘ^2 はｘとｘとの掛算として計算され、ｘ^4 はｘ^2 とｘ^2 との掛算として計算され、且つｘ^3 はｘとｘ^2 との掛算として計算される。

【００３０】等号記号は出力に与えられる名前を表わしており、出力は格納のためにレジスタファイル１３０におけるレジスタへ経路付けされ、又は更なる計算を行なうために、乗算・加算ユニット１２０の被乗数保持用レジスタ１２３又は１２４のうちの１つへ経路付けさせることが可能である。該レジスタ内のデータは、例えば「ａ」、「ｂ」、「ｃ」、「ｄ」、「ｅ」、「ｆ」、「ｇ」、「ｈ」、「ｉ」、「ｊ」等の名前によって表わされ、これらの名前は異なる値に対して該表中において再使用することが可能である。被乗数保持用レジスタ１２３又は１２４のうちの１つへ直接的に経路付けすることは、「ｐ」及び「ｑ」の名前によって表わされ、これらの名前は異なる値に対して該表中において再度使用されることはなく且つ典型的に表示したテイラー級数におけるその名前を有する値を表わす。元の入力は名前「ｘ」によって表わされる。

【００３１】「ａｄｄ　１」として示した欄は、加算ユニット器１６０の第一段１６１によって実行される演算を表わしている。同様に、「ａｄｄ　２」として示されている欄は、加算器ユニット１６０の第二段１６２によって実行される演算を表わしており、且つ「ａｄｄ　３」として示される欄は加算器ユニット１６０の第三段１６３によって実行される演算を表わしている。加算器ユニット１６０に対する各加算演算は３つのクロックサイクルを必要とするので、「ａｄｄ　１」として示した欄内に表われる各演算は常に「ａｄｄ　２」として示した欄内の次のクロックサイクル内に表われ且つ「ａｄｄ　３」として示した欄内のそれに続くクロックサイクルにおいて表われる。

【００３２】「制御」として示した欄は制御ユニット１８０によって指示される演算を表わしている。演算「ｒｅａｄ　ｒｏｍ」は、リードオンリメモリ（「ＲＯＭ」）を有することの可能な格納要素１５０から値を読取ることを意味している。１．０の値をＲＯＭから乗算・加算ユニット１２０へ供給することも可能であり、又は第一段１２１において内部的に発生させることが可能である。

【００３３】表２－１に示したように、１０項のテイラー級数を計算するために全部で約１８個のクロックサイクルかかる。この級数は入力引き数｜ｘ｜＜ｐｉ／４の値に対して十分な精度で収束する。関数ＣＯＸ（ｘ）は表２－２に示したように同様の態様で計算することが可能である。２つの関数ＳＩＮ（ｘ）及びＣＯＸ（ｘ）は表２－３に示したように、同様の態様で、単一の演算で一緒に計算することも可能である。関数ＴＡＮｘは表２－４に示したように同様の態様で計算することが可能である。関数ＴＡＮｘは逆数の計算を使用する。

【００３４】「ニュートン（ｎｅｗｔｏｎ）」として示

した欄は、ニュートン要素１７０の演算を表わしている。括弧内の値は、計算される精度のビット数を表わしている。精度のビット数が大きいとより多くの時間を必要とする。その他の超越関数が同様の態様で実現される。関数ＣＯＳＨｘ，ＳＩＮＨｘ，ＴＡＮＨｘは、夫々、式２２２，２２３，２２６に示したように、減算する代わりに異なる部分級数を加算するという点を除いて、ＣＯＳｘ，ＳＩＮｘ，ＴＡＮｘと同一の態様で計算される。関数ＥＸＴｘは、式２２４において示されるように、部分級数を使用するという点を除いて、ＣＯＳｘ又はＳＩＮｘと同様の態様で計算される。あるその他の超越関数は計算のために異なる級数を必要とする。

【００３５】関数2^x-1は一般的に使用する機械言語に対する命令セットにおいて使用されているという部分的な理由、及びこの関数に対するテイラー級数は比較的迅速に収束するという部分的な理由により、その関数が望ましいものである。この関数は、－１と＋１との間のその入力引き数ｘの値に対して計算される。この範囲外のその入力引き数ｘの値に対して該関数を計算するために、この範囲内に入るためにｘの指数を調節すること及び補償するために計算結果の指数を調節することが必要であるに過ぎない。

【００３６】$-1<x<1$に対して2^x-1を計算するために、ｐ，ｑ，ｒ，ｓが、夫々、式２４１，２４２，２４３，２４４において示したように定義されているものとする。

【００３７】

$$p=x\ln(2) \qquad (241)$$

$$q=(x\ln(2))^2 \qquad (242)$$

$$r=(1/2!)q^2+(1/4!)q^4+(1/6!)q^6+(1/8!)q^8+(1/10!)q^{10}+(1/12!)q^{12}+(1/14!)q^{14}+(1/16!)q^{16}+(1/18!)q^{18} \qquad (243)$$

$$s=1+(1/3!)q^3+(1/5!)q^5+(1/7!)q^7+(1/9!)q^9+(1/11!)q^{11}+(1/13!)q^{13}+(1/15!)q^{15}+(1/17!)q^{17}+(1/19!)q^{19} \qquad (244)$$

関数$(2^x)-1$は以下の如くこれらの部分級数を使用して計算することが可能である。

【００３８】

$$(2^x)-1=r-s \qquad (245)$$

級数ｘ０，ｘ１，ｘ２，ｘ３と同様に、級数ｒ及びｓは有限の長さを有するに過ぎない。何故ならば、それらは、該プロセサに対して使用される浮動小数点表現に対する丸め誤差の限界内において、該超越関数に対する正確な値へ収束するからである。

【００３９】級数ｒ及びｓの各々は以下の如くに再公式化させることが可能である。

【００４０】

$$r=(1/2!+(1/4!+(1/6!+(1/8!+(1/10!+(1/12!+(1/14!+(1/16!+p/18!)p)p)p)p)p)p)p)p \qquad (251)$$

$$s=(1+1/3!+(1/5!+(1/7!+(/9!+(1/11!+(1/13!+(1/15!+(1/17!+p/19!)p)p)p)p)p)p)p)q \qquad (252)$$

関数$(2^x)-1$は、従って、表２－５に示したように計算することが可能である。

【００４１】関数ＡＲＣＴＡＮｘの場合には、通常のテイラー級数が式２６１におけるように示される。

【００４２】

$$\mathrm{ARCTAN}x=x-(1/3)x^3+(1/5)x^5-(1/7)x^7+(1/9)x^9... \qquad (261)$$

ｙ０及びｙ１を夫々式２６２及び２６３に示したように定義するものとする。

$$y0=1+(1/5+(1/9+(1/13+(1/17+(1/21+(1/25+(1/29+(1/33+(1/37+(1/41+(1/45+(1/49+(1/53+(1/57+(1/61+(1/65+(1/69+p/73)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p \qquad (262)$$

$$y1=1/3+(1/7+(1/11+(1/15+(1/19+(1/23+(1/27+(1/31+(1/35+(1/39+$$

$$(1/43+(1/47+(1/51+(1/55+(1/59+(1/63+(1/67+p/71)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p \qquad (263)$$

公知のテイヤー級数はこれらの部分級数を使用して以下の如くに計算することが可能である。

【００４３】

$$\mathrm{ARCTAN}x=(y0)(x)-(y1)(x^3) \qquad (264)$$

尚、$p=x^4$ である。

【００４４】この級数は、ｘ＜ｘ＜１／ｒであり、尚ｒ＝ＳＱＲＴ（３）、即ち３の平方根である場合に、迅速な計算に対して充分に高速に収束する。従って、関数ＡＲＣＴＡＮ（ｘ）は、０＜ｘ＜１／ＳＱＲＴ（３）の範囲に入る入力オペランドｘの値に対し、表２－６に示したように、計算することが可能である。

【００４５】然しながら、１／ｒ＜ｘ＜１である場合には、ＡＲＣＴＡＮｘに対する別の級数がより高速な収束のために好適である。

【００４６】

$$\mathrm{ARCTAN}x=pi/6+r/2(y/1-y^2/2+y^4/4-y^5/5+y^7/7-y^8/8+y^{10}/10-y^{11}/11...) \qquad (265)$$

尚、ｙ＝（ｒ／２）（ｘ－（１／ｒ））である。

【００４７】ｗ１及びｗ２を、夫々、式２６６及び２６７に示したように定義されるものとする。

【００４８】

$$w0=1+(1/4+(1/7+(1/10+(1/13+(1/16+(1/19+(1/22+(1/25+(1/28+(1/31+(1/34+(1/37+(1/40+(1/43+q/46)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q \qquad (266)$$

$$w1=1/2+(1/5+(1/8+(1/11+(1/14+(1/13+(1/20+(1/23+(1/26+(1/29+(1/32+(1/35+(1/38+(1/41+(1/44+q/47)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q)q \qquad (267)$$

尚、$q=y^3$ である。

【００４９】式２６５の級数は、以下の如くにしてこれらの部分級数を使用して計算することが可能である。

【００５０】

$$\mathrm{ARCTAN}x=pi/6+(w1)(yr/2)-(w1)(y^2 r/2) \qquad (268)$$

式２６８は表２－７に示したように計算される。

【００５１】入力オペランドｘ＞１／ＳＱＲＴ（３）の値に対して、入力オペランドｘを反転し且つ等価性ＡＲＣＴＡＮ１／ｘ＝１／（ＡＲＣＴＡＮｘ）を使用して、ａｒｃｔａｎ（ｘ）を計算することが可能である。同様に、入力オペランドｘ＜０の値に対して、等価性ＡＲＣＴＡＮ（－ｘ）＝－（ＡＲＣＴＡＮｘ）を使用して、ＡＲＣＴＡＮ（ｘ）を計算することが可能である。

【００５２】関数ｌｇ（ｘ）、即ち２を底とするｘの対数は、級数を使用して決定することの可能な他の超越関数である。入力引き数（ｘ）は（ｂ）（2^q）として表わされ、その場合に、ｑは整数であり且つ１１／１６＜ｑ＜２３／１６であり、整数ｑは正、零又は負となることが可能である。パラメータ（ｐ）に対するこれらの限界はそれらが以下の範囲と同様であるために選択される。

【００５３】

$$-(1-\mathrm{SQRT}(2)/2)<x<\mathrm{SQRT}(2)-1 \qquad (269)$$

従って、

$$\begin{aligned} \mathrm{lg}x &= q+\mathrm{lg}p \\ &= q+\ln p/\ln 2 \\ &\fallingdotseq q+1.442695\ln p \end{aligned}$$

尚、ｌｎ（ｐ）はｐの自然対数である。

【００５４】従って、ｌｎｐ＝２（Ｕ＋Ｖ）であり、尚Ｕ及びＶは夫々式２７１及び２７２におけるようにして決定される。

【００５５】

$$\begin{aligned} U &= r+r^5/5+r^9/9+r^{13}/13+r^{17}/17+r^{21}/21+r^{25}/25 \\ &= (1+(1/5+(1/9+(1/13+(1/17+(1/21+t/25)t)t)t)t)t)r \end{aligned} \qquad (271)$$

尚、$r=p^{-1}/p^{+1}$及び$t=r^4$である。

【0056】

$$V=r^3/3+r^7/7+r^{11}/11+r^{15}/15+r^{19}/19+r^{23}/23$$
$$=(1/3+(1/7+(1/11+(1/15+(1/19+t/23)t)t)t)t)r^3 \qquad (272)$$

尚、r及びtは式271におけるように定義される。

【0057】従って、入力オペランド$x>0$の値に対して、関数lg（x）を表2－8に示したように計算することが可能である。関数lg（x）は入力オペランド$x<0$の値に対しては定義されていない。

【0058】関数ln（x＋1）の場合には、通常のテイラー級数が式281において示されている。

【0059】

$$\ln(x+1)=x-x^2/2+x^3/3-x^4/4... \qquad (281)$$

U及びVを、夫々、式282及び283に示したように定義するものとする。

$$U=x+x^3/3+x^5/5+x^7/7+x^9/9+x^{11}/11+x^{13}/13+x^{15}/15+x^{17}/17+x^{19}/19+x^{21}/21+x^{23}/23+x^{25}/25+x^{27}/27+x^{29}/29$$
$$=(1+(1/3+(1/5+(1/7+(1/9+(1/11+(1/13+(1/15+(1/17+(1/19+(1/21+(1/23+(1/25+(1/27+p/29)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p \qquad (282)$$

尚、$p=x^2$である。

【0060】

$$V=x^2/2+x^4/4+x^6/6+x^8/8+x^{10}/10+x^{12}/12+x^{14}/14+x^{16}/16+x^{18}/18+x^{20}/20+x^{22}/22+x^{24}/24+x^{26}/26+x^{28}/28+x^{30}/30$$
$$=(1/2+(1/4+(1/6+(1/8+(1/10+(1/12+(1/14+(1/16+(1/18+(1/20+(1/22+(1/24+(1/26+p/28+p/30)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p)p \qquad (283)$$

尚、$p=x^2$である。

【0061】従って、ln（x＋1）＝U－Vである。この級数は、入力引き数$x<1/4$の値に対して収束し、且つ（x）は（1／SQRT（2））－1＜x（SQRT（2））－1の範囲内に入る。注意すべきことであるが、$x<1/4$の場合に、精度が失われるのでxに対して値を加算しないことが望ましい。

【0062】従って、

$$\lg(x+1)=\ln(x+1)/\ln(2)\fallingdotseq 1.442695\ln(x+1) \qquad (284)$$

従って、関数lg（x＋1）は、入力オペランド$x>1/4$の値に対して表2－10に示したように計算することが可能である。

【0063】$x>1/4$である場合に、表2－8を参照して説明したlg（x＋1）を決定する方法と異なり、$x>1/4$である場合に、xへ値を加算することが可能である。何故ならば、精度の損失はそれ程強い考慮事項ではないからである。

【0064】U及びVを式291及び292におけるように定義されるものとする。

【0065】

$$U=r+r^5/5+r^9/9+r^{13}/13+r^{17}/17+r^{21}/21+r^{25}/25$$
$$=(1+(1/5+(1/9+(1/13+(1/17+(1/21+t/25)t)t)t)t)t)r \qquad (291)$$

尚、$r=x/(x+2)$及び$t=r^4$である。

【0066】

$$V=r^3/3+r^7/7+r^{11}/11+r^{15}/15+r^{19}/19+r^{23}/23$$
$$=(1/3+(1/7+(1/11+(1/15+(1/19+t/23)t)t)t)t)r^3 \qquad (292)$$

尚、r及びtは式291におけるように定義される。

【0067】従って、ln（x＋1）＝2（U＋V）である。この級数は、（1／SQRT（2））－1＜x＜SQRT（2）－1の範囲内に入る入力引き数（x）の値に対して収束する。

【0068】従って、関数lg（x＋1）は入力オペラ

ンドｘ＜１／４の値に対して表２－９に示したように計算することが可能であり、且つ入力オペランドｘ＞１／４の値に対して表２－１０に示したように計算することが可能である。

【００６９】シミュレーション及び実験結果
表３－１は超越関数を計算するための１組の実験的待ち時間を示しており、本発明に基づく浮動小数点ユニットを包含するプロセサに対する待ち時間を、カリフォルニア州サンタクララのインテルコーポレイションから入手可能な「ペンチアム（Ｐｅｎｔｉｕｍ）」プロセサと比較している。表３－１に示されるように、本発明に基づく浮動小数点ユニットは殆どの場合にペンチアムプロセサよりも一層高速である。

【００７０】「命令」として示した欄はテストした命令のタイプを表わしている。「待ち時間」と示した欄は、各タイプのプロセサに対しクロックサイクルにおける待ち時間を示している。示されている２つの数字は待ち時間に対する下限と上限である。「差」として示されている欄は、本発明に基づく浮動小数点ユニットとして比較してペンチアムプロセサによって必要とされる付加的な時間である。

【００７１】

表３－１

命　令	待ち時間（ペンチアム）	待ち時間（本発明）	差
$(2^x)-1$	５４．．６０	５４．．５４	０
ｃｏｓ（ｘ）	５９．．１２６	３４．．６６	２５
ｓｉｎ（ｘ）	５９．．１２６	３６．．６６	２３
ｓｉｎ（ｘ）及びｃｏｓ（ｘ）	８３．．１３８	５４．．８４	２９
ａｒｃｔａｎ（ｘ）	９８．．１３７	９６．．１１６	２
ｔａｎ（ｘ）	１１５．．１７４	６０．．９０	５５
ｌｇ（ｘ）	１０４．．１１４	７０．．７０	３４
ｌｇ（ｘ＋１）	１０３．．１０６	７６．．７８	２７

その他の超越関数も時間の節約を有している。

【００７２】別の実施例
本明細書においては好適実施例について開示したが、多くの変形例が可能であり、それは本発明の概念、範囲及び精神の範囲内に入るものであり、これらの変形例は本明細書を吟味した後で当業者にとって自明なものとなるものである。

【００７３】
【表２－１】

表２－１　｜ｘ｜＜ｐｉ／４に対するＳｉｎ（ｘ）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						
2		x*x					read rom for 1/19!=a
3	x**4						read rom for 1/17!=b
4	x**3	x**4=p					read rom for 1/15!=c
5	ap+c	x**3=q					read rom for 1/13!=d
6	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/11!=e
7	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/9!=f
8	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/7!=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/5!-h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/3!-i
11	vp+i	up+h=w					
12	wp+l	vp+i=m					
13	mq	wp+l=n					
14	nx	mq					
15		nx					
16				nx-mq			
17					nx-mq		
18						nx-mq => output, change sign if needed	

【００７４】

【表２－２】

表２－２　｜ｘ｜＜ｐｉ／４に対するＣｏｓ（ｘ）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						
2		x*x=q					read rom for 1/18!=a
3	x**4						read rom for 1/16!=b
4		x**4=p					read rom for 1/14!=c
5	ap+c						read rom for 1/12!=d
6	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/10!=e
7	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/8!=f
8	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/6!=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/4!=h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/2!=i
11	vp+i	up+h=w					
12	wp+l	vp+i=m					
13	mq	wp+l=n					
14		mq					
15				n-mq			
16					n-mq		
17						n-mq	=> output

【００７５】　【表２－３】

表２－３　｜ｘ｜＜ｐｉ／４に対するＳｉｎＣｏｓ（ｘ）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						
2		x*x=q					read rom for 1/18!=a
3	x**4						read rom for 1/16!=b
4	x**3	x**4=p					read rom for 1/14!=c
5	ap+c	x**3=z					read rom for 1/12!=d
6	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/10!=e
7	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/8!=f
8	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/6!=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/4!=h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/2!=i
11	vp+i	up+h=w					read rom for 1/19!=a
12	wp+l	vp+i=m					read rom for 1/17!=b
13	mq	wp+l=n					read rom for 1/15!=c
14	ap+c	mq					read rom for 1/13!=d
15	bp+d	ap+c=r		n-mq			read rom for 1/11!=e
16	rp+e	bp+d=s			n-mq		read rom for 1/9!=f
17	sp+f	rp+e=t				n-mq	=> output cos(x)
							read rom for 1/7!=g
18	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/5!=h
19	up+h	tp+g=v					read rom for 1/3!=i
20	vp+i	up+h=w					
21	wp+l	vp+i=m					
22	mz	wp+l=n					
23	nx	mz					
24		nx					
25				nx-mz			
26					nx-mz		
27						nx-mz	=> output sin(x), change sign if needed

【００７６】　【表２－４】

表２－４ ｜ｘ｜＜ｐｉ／４に対するＴａｎ（ｘ）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						
2		x*x=q					read rom for 1/18!=a
3	x**4						read rom for 1/16!=b
4	x**3	x**4=p					read rom for 1/14!=c
5	ap+c	x**3=z					read rom for 1/12!=d
6	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/10!=e
7	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/8!=f
8	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/6!=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/4!=h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/2!=i
11	vp+i	up+h=w					read rom for 1/19!=a
12	wp+1	vp+i=m					read rom for 1/17!=b
13	mq	wp+1=n					read rom for 1/15!=c
14	ap+c	mq					read rom for 1/13!=d
15	bp+d	ap+c=r		n-mq			read rom for 1/11!=e
16	rp+e	bp+d=s			n-mq		read rom for 1/9!=f
17	sp+f	rp+e=t				n-mq=a	Represent 1/a as b
							read rom for 1/7!=g
18	tp+g	sp+f=u	b(9)				read rom for 1/5!=h
19	up+h	tp+g=v	b(18)				read rom for 1/3!=i
20	vp+i	up+h=w	b(36)				
21	wp+1	vp+i=m	b(36)				
22	mz	wp+1=n	b(66)				
23	nx	mz	b(66)				
24		nx	b(66)				
25			b(66)	nx-mz			
26					nx-mz		
27						nx-mz=c	
28	c*b(66)						
29		c*b(66)					
30			c*b(66) in mul3 => output				

【００７７】

【表２－５】

表２－５　｜ｘ｜＜１．０に対する（2^{x}）－１の実施例

全超越関数の第１クロックは、どの超越関数を実行すべきか及び入力はどの範囲かを決定するために制御論理によって使用される。使用することが可能である場合には、乗算ユニットにおいてｘ＊ｘが実行される。又、ＲＯＭはクロック０とクロック１の両方において読み取られ、それらを使用することが可能である場合には、ｌｎ（２）＊＊２及びｌｎ（２）の値を得る。

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
0							read rom for ln(2)
1	x*x						read rom for ln(2)**2=y
2	x*ln(2)	x*x					read rom for 1/19!=a
3	x**2*y	x*ln(2)=q					read rom for 1/18!=b
4		x**2*y=p					read rom for 1/17!=c
5	ap+c						read rom for 1/16!=d
6	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/15!=e
7	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/14!=f
8	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/13!=g
9	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/12!=h
10	up+h	tp+g=v					read rom for 1/11!=i
11	vp+i	up+h=w					read rom for 1/10!=a
12	wp+a	vp+i=z					read rom for 1/9!=b
13	xp+b	wp+a=r					read rom for 1/8!=c
14	rp+c	xp+b=s					read rom for 1/7!=d
15	sp+d	rp+c=t					read rom for 1/6!=e
16	tp+e	sp+d=u					read rom for 1/5!=g
17	up+f	tp+e=v					read rom for 1/4!=g
18	vp+g	up+f=w					read rom for 1/3!=h
19	wp+h	vp+g=z					read rom for 1/2!=i
20	zp+i	wp+h=r					
21	rp+l	zp+i=m					
22	mp	rp+l=n					
23	nq	mp					
24		nq					
25				mp+nq			
26					mp+nq		
27						mp+nq => output	

【００７８】

【表２－６】

表２　６　｜ｘ｜＜１／ＳＱＲＴ（３）に対するΛｒｃＴａｎ（ｘ）の実施例

<table>
<tr><th>clock</th><th>mul1</th><th>mul2</th><th>newton</th><th>add1</th><th>add2</th><th>add3</th><th>control</th></tr>
<tr><td>1</td><td>x*x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>x*x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/73=a</td></tr>
<tr><td>3</td><td>x**4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/71=b</td></tr>
<tr><td>4</td><td>|x**3|</td><td>x**4=p</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/69=c</td></tr>
<tr><td>5</td><td>ap+c</td><td>|x**3|=q</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/67=d</td></tr>
<tr><td>6</td><td>bp+d</td><td>ap+c=r</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/65=e</td></tr>
<tr><td>7</td><td>rp+e</td><td>bp+d=s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/63=f</td></tr>
<tr><td>8</td><td>sp+f</td><td>rp+e=t</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/61=g</td></tr>
<tr><td>9</td><td>tp+g</td><td>sp+f=u</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/59=h</td></tr>
<tr><td>10</td><td>up+h</td><td>tp+g=v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/57=i</td></tr>
<tr><td>11</td><td>vp+i</td><td>up+h=w</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/55=j</td></tr>
<tr><td>12</td><td>wp+j</td><td>vp+i=m</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/53=a</td></tr>
<tr><td>13</td><td>mp+a</td><td>wp+j=n</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/51=b</td></tr>
<tr><td>14</td><td>np+b</td><td>mp+a=r</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/49=c</td></tr>
<tr><td>15</td><td>rp+c</td><td>np+b=s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/47=d</td></tr>
<tr><td>16</td><td>sp+d</td><td>rp+c=t</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/45=e</td></tr>
<tr><td>17</td><td>tp+e</td><td>sp+d=u</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/43=f</td></tr>
<tr><td>18</td><td>up+f</td><td>tp+e=v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/41=g</td></tr>
<tr><td>19</td><td>vp+g</td><td>up+f=w</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/39=h</td></tr>
<tr><td>20</td><td>wp+h</td><td>vp+g=m</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/37=i</td></tr>
<tr><td>21</td><td>mp+i</td><td>wp+h=n</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/35=j</td></tr>
<tr><td>22</td><td>np+j</td><td>mp+i=r</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/33=a</td></tr>
<tr><td>23</td><td>rp+a</td><td>np+j=s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/31=b</td></tr>
<tr><td>24</td><td>sp+b</td><td>rp+a=t</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/29=c</td></tr>
<tr><td>25</td><td>tp+c</td><td>sp+b=u</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/27=d</td></tr>
<tr><td>26</td><td>up+d</td><td>tp+c=v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/25=e</td></tr>
<tr><td>27</td><td>vp+e</td><td>up+d=w</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/23=f</td></tr>
<tr><td>28</td><td>wp+f</td><td>vp+e=m</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/21=g</td></tr>
<tr><td>29</td><td>mp+g</td><td>wp+f=n</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/19=h</td></tr>
<tr><td>30</td><td>np+h</td><td>mp+g=r</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/17=i</td></tr>
<tr><td>31</td><td>rp+i</td><td>np+h=s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/15=j</td></tr>
<tr><td>32</td><td>sp+j</td><td>rp+i=t</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/13=a</td></tr>
<tr><td>33</td><td>tp+a</td><td>sp+j=u</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/11=b</td></tr>
<tr><td>34</td><td>up+b</td><td>tp+a=v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/9=c</td></tr>
<tr><td>35</td><td>vp+c</td><td>up+b=w</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/7=d</td></tr>
<tr><td>36</td><td>wp+d</td><td>vp+c=m</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/5=e</td></tr>
<tr><td>37</td><td>mp+e</td><td>wp+d=n</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>read rom for 1/3=f</td></tr>
<tr><td>38</td><td>np+f</td><td>mp+e=r</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>39</td><td>mp+1</td><td>mp+f=s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>40</td><td>sq</td><td>mp+1=t</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>41</td><td>|tx|</td><td>sq=a</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>42</td><td></td><td>|tx|=b</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>43</td><td></td><td></td><td></td><td>b-a</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>44</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>b-a</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>45</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>b-a -> output</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>change sign if x < 0</td></tr>
</table>

【００７９】

【表２−７】

表２－７　１／ＳＱＲＴ（３）＜｜ｘ｜＜１に対するＡｒｃＴａｎ（ｘ）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1				Represent 3**(1/2) as k and			read rom for 1/k
2				|x|-1/k			read rom for k/2
3					|x|-1/k=y		
4						|x|-1/k=y	
5	y*y						
6	y*k/2	y*y					read rom for 1/47=a
7	y**3	y*k/2=L					read rom for 1/46=b
8	y*y*k/2	y**3=p					read rom for 1/44=c
9	ap+c	y*y*k/2=q					read rom for 1/43=d
10	bp+d	ap+c=r					read rom for 1/41=e
11	rp+e	bp+d=s					read rom for 1/40=f
12	sp+f	rp+e=t					read rom for 1/38=g
13	tp+g	sp+f=u					read rom for 1/37=h
14	up+h	tp+g=v					read rom for 1/35=i
15	vp+i	up+h=w					read rom for 1/34=j
16	wp+j	vp+i=m					read rom for 1/32=a
17	mp+a	wp+j=n					read rom for 1/31=b
18	np+b	mp+a=r					read rom for 1/29=c
19	rp+c	np+b=s					read rom for 1/28=d
20	sp+d	rp+c=t					read rom for 1/26=e
21	tp+e	sp+d=u					read rom for 1/25=f
22	up+f	tp+e=v					read rom for 1/23=g
23	vp+g	up+f=w					read rom for 1/22=h
24	wp+h	vp+g=m					read rom for 1/20=i
25	mp+i	wp+h=n					read rom for 1/19=j
26	np+j	mp+i=r					read rom for 1/17=a
27	rp+a	np+j=s					read rom for 1/16=b
28	sp+b	rp+a=r					read rom for 1/14=c
29	tp+c	sp+b=u					read rom for 1/13=d
30	up+d	tp+c=v					read rom for 1/11=e
31	vp+e	up+d=w					read rom for 1/10=f
32	wp+f	vp+e=m					read rom for 1/8=g
33	mp+g	wp+f=n					read rom for 1/7=h
34	np+h	mp+g=r					read rom for 1/5=i
35	rp+i	np+h=s					read rom for 1/4=j
36	sp+j	rp+i=t					read rom for 1/2=a
37	tp+a	sp+j=u					
38	up+1	tp+a=v					
39	vq	up+1					
40	tL	vq=a					read rom for pi/6
41		tL=b		pi/6-a			
42					pi/6-a		
43						pi/6-a	
44				b+pi/6-a			
45					b+pi/6-a		
46						b+pi/6-a => output,	change sign if x < 0

【００８０】 【表２－８】

表２－８　０＜ｘに対するｌｇ（ｘ）の実施例

Express x as x = (2**q) * p where 11/16 < p < 23/16

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1			determine p+1 and q from x and represent 1/(p+1) as z				
2			z(9)				read rom for 2
3			z(18)	(p+1)-2			
4			z(36)		(p+1)-2		read rom for 1/ln(2)-t
5			z(36)	float q		(p+1)-2=r	
6			z(66)		float q		
7	2t		z(66)			float q=s	
8		2t	z(66)				
9	st		z(66)				
10	rz	st=v					
11		rz=h					
12	h**2						
13	2th	h**2					read rom for 1/25=a
14	h**4	2th=o					read rom for 1/23=b
15	h**3	h**4=r					read rom for 1/21=c
16	ar+c	h**3=g					read rom for 1/19=d
17	br+d	ar+c=i					read rom for 1/17=e
18	ir+e	br+d=j					read rom for 1/15=f
19	jr+f	ir+e=k					read rom for 1/13=a
20	kr+a	jr+f=l					read rom for 1/11=b
21	lr+b	kr+a=m					read rom for 1/9=c
22	mr+c	lr+b=n					read rom for 1/7=d
23	nr+d	mr+c=i					read rom for 1/5=e
24	ir+e	nr+d=j					read rom for 1/3=f
25	jx+f	ir+e=k					
26	kr+1	jr+f=l					
27	lg	kr+1=m					
28	mo	lg					
29	2tlg	m0=a					
30		2tlg=b		a+v			
31					a+v		
32						a+v	
33				b+a+v			
34					b+a+v		
35						b+a+v => output	

【００８１】

【表２－９】

表２－９　｜ｘ｜＜１／４に対するｌｇ（ｘ＋１）の実施例

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1	x*x						read rom for 1/30=a
2		x*x=p					read rom for 1/29=b
3							read rom for 1/28=c
4	ap+c						read rom for 1/27=d
5	bp+d	ap+c=i					read rom for 1/26=e
6	ip+e	bp+d=j					read rom for 1/25=f
7	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/24=a
8	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/23=b
9	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/22=c
10	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/21=d
11	np+d	mp+c=i					read rom for 1/20=e
12	ip+e	np+d=j					read rom for 1/19=f
13	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/18=a
14	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/17=b
15	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/16=c
16	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/15=d
17	np+d	mp+c=i					read rom for 1/14=e
18	ip+e	np+d=j					read rom for 1/13=f
19	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/12=a
20	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/11=b
21	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/10=c
22	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/9=d
23	np+d	mp+c=i					read rom for 1/8=e
24	ip+e	np+d=j					read rom for 1/7=f
25	jp+f	ip+e=k					read rom for 1/6=a
26	kp+a	jp+f=l					read rom for 1/5=b
27	lp+b	kp+a=m					read rom for 1/4=c
28	mp+c	lp+b=n					read rom for 1/3=d
29	np+d	mp+c=i					read rom for 1/2=e
30	ip+e	np+d=j					
31	jp+1	ip+e=k					
32	kp	jp+1=l					
33	lz	jp=m					read rom for 1/ln(2)=z
34	mz	lz=n					
35	nz	mz=a					
36		nz=b					
37				b-a			
38					b-a		
39						b-a => output	

【００８２】

【表２－１０】

表２－１０　１／４＜｜ｘ｜に対するｌｇ（ｘ＋１）の実施例

Express x+1 as x+1 = (2**q) * p where 11/16 < p < 23/16

clock	mul1	mul2	newton	add1	add2	add3	control
1				x+1			
2					x+1		
3						x+1=x [new x is old x plus one]	
4			determine p+1 and q from new x				Represent 1/(p+1) as z
5			z(9)				read rom for 2
6			z(17)				
7			z(33)				read rom for 1/ln(2)=t
8			z(33)	float q			
9			z(66)		float q		
10	2t		z(66)			float q=s	
11		2t	z(66)				
12	st		z(66)				
13	xr	st=v					
14		xr=h					
15	h**2						
16	2th	h**2					read rom for 1/25=a
17	h**4	2th=o					read rom for 1/23=b
18	h**3	h**4=r					read rom for 1/21=c
19	ar+c	h**3=g					read rom for 1/19=d
20	br+d	ar+c=i					read rom for 1/17=e
21	ir+e	br+d=j					read rom for 1/15=f
22	jr+f	ir+e=k					read rom for 1/13=a
23	kr+a	jr+f=l					read rom for 1/11=b
24	lr+b	kr+a=m					read rom for 1/9=c
25	mr+c	lr+b=n					read rom for 1/7=d
26	nr+d	mr+c=i					read rom for 1/5=e
27	ir+e	nr+d=j					read rom for 1/3=f
28	jr+f	ir+e=k					
29	kr+l	jr+f=l					
30	lg	kr+l=m					
31	mo	lg					
32	2lg	m0=a					
33		2lg=b		a+v			
34					a+v		
35						a+v	
36				b+a+v			
37					b+a+v		
38						b+a+v => output	

【００８３】以上、本発明の具体的実施の態様について詳細に説明したが、本発明は、これら具体例にのみ限定されるべきものではなく、本発明の技術的範囲を逸脱することなしに種々の変形が可能であることは勿論である。

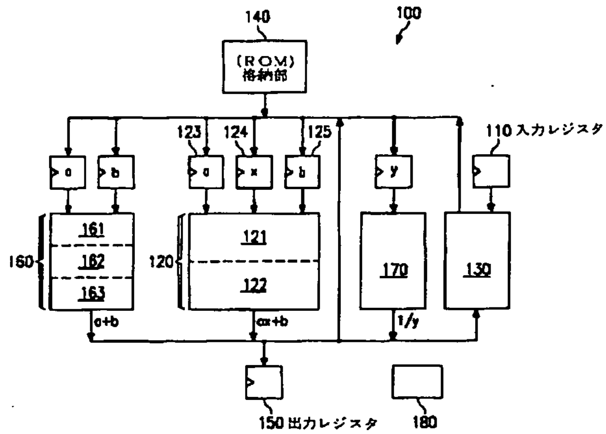
【図面の簡単な説明】

【図１】　本発明に基づいて超越関数を計算するための浮動小数点処理ユニットを示した概略ブロック図。

【符号の説明】

１００　浮動小数点処理ユニット
１１０　入力レジスタ
１２０　乗算・加算ユニット
１２１　第一段
１２２　第二段
１３０　レジスタファイル
１４０　格納要素
１５０　出力レジスタ
１６０　加算器ユニット
１６１　第一段
１６２　第二段
１６３　第三段
１７０　ニュートン要素
１８０　制御要素

【図１】


140
(ROM)
格納部
100
123
124
125
110 入力レジスタ
a
b
a
x
b
y
161
162
163
160
121
122
120
170
130
a+b
ax+b
1/y
150 出力レジスタ
180